Aus der chirurgisch-orthopädischen Abteilung des
Städtischen Krankenhauses Berlin-Britz
Chefarzt: Priv. Dozent Dr. med. Günter Friedebold

DAS VERHALTEN VON KRAFT UND AUSDAUER WÄHREND EINES ISOMETRISCHEN TRAININGS

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

1962

vorgelegt von
Gudrun Düntsch
aus Berlin

Druck:

ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Förderer und Freunde der Freien Universität Berlin e.V.

DISSERTATIONS-DRUCKSTELLE

1 Berlin 33, Garystr. 45

Aus der chirurgisch-orthopädischen Abteilung des
Städtischen Krankenhauses Berlin-Britz
Chefarzt: Priv. Dozent Dr. med. Günter Friedebold

DAS VERHALTEN VON KRAFT UND AUSDAUER WÄHREND EINES ISOMETRISCHEN TRAININGS

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Gudrun Düntsch
aus Berlin

Dekan: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt
Referent: Priv. Doz. Dr. med. Günter Friedebold
Korreferent: Professor Dr. med. et phil. Karl Freudenberg

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 10. Mai 1962

Inhaltsverzeichnis:

I. Einleitung und Problemstellung.....S. 1
II. Methodik.....S. 8
III. Ergebnisse.....S.11
IV. Besprechung der Ergebnisse.....S.22
V. Zusammenfassung.....S.30
Schrifttum

Einleitung und Problemstellung

Eine alte Erfahrung der Sportmedizin und der Arbeitsphysiologie besagt (Hettinger und Müller; Hettinger; de Lorme; Ferris und Gallagher), daß eine Zunahme der Muskelkraft nur durch Training, d.h. durch wiederholte aktive Innervation des Muskels zu erzielen ist. In den letzten Jahren ist von theoretischer und klinischer Seite aus oft die Frage gestellt worden, wie z.B. nach einer Inaktivitätsatrophie die normale Funktion eines Muskels in kürzester Zeit und mit möglichst geringem Aufwand wieder erreicht werden kann. Nach Roux nimmt die Kraft eines Muskels nur dadurch zu, daß der Arbeitswiderstand über die normale tägliche Belastung hinaus ansteigt. Eine verlängerte Arbeitszeit gegen einen üblichen Widerstand führt dagegen zu keinem Kraftanstieg. Zur Kraftsteigerung eines Muskels gaben de Lorme und Mitarbeiter eine Methode an, die eine systematische Steigerung der Übungsanforderungen von Trainingswoche zu Trainingswoche ermöglicht. Hettinger und Müller lehnen sich in ihren Untersuchungen an das Vorgehen von de Lorme an. Sie fanden bei Bestimmung der Maximalkraft der Unterarmbeuger, daß täglich durchgeführte isometrische Kontraktionen von 10 sec. Dauer und maximaler Kraft ausreichen, um im Verlauf von etwa 10 Trainingswochen einen durchschnittlichen Kraftzuwachs von ca 100% zu erzielen. Voraussetzung dafür ist, daß jeweils mit der wöchentlich neu ermittelten Maximalkraft trainiert wird. Nach diesen Autoren soll auch bereits ein Training mit 2/3 der Maximalkraft ausreichen, um den gleichen Effekt zu erzielen.(Siehe auch Larsen und Rarick).

Bei dieser Art der Muskelbetätigung überschreitet die physikalisch nicht fassbare "Arbeit" pro Zeiteinheit eine bestimmte Grenze, sodaß eine Umfangszunahme des entsprechenden Muskels zu erwarten ist (Petow und Siebert; Herxheimer). Entsprechend den Erfahrungen der Sportmedizin muß man unter den Bedingungen des isometrischen Trainings vorwiegend mit einer Kraftzunahme des Muskels rechnen, da nach Petow und Siebert die Muskelmasse bei isometrischen Kontraktionen stärker zunimmt als bei isotonischen.

Dabei bleibt die Frage offen, wie sich unter einem progressiven isometrischen Training die Ausdauer des entsprechenden Muskels verhält, d.h. z.B. ob die zunehmende Kraft mit konstanter Dauer aufrecht erhalten werden kann.

Nach klinischen Erfahrungen kommt es bei einem Muskel der täglich unterhalb einer bestimmten Schwelle beansprucht wird, zu einer Atrophie. So soll die "Normalkraft" nach Müller und Hettinger dadurch aufrecht erhalten werden, daß das Maß der täglichen Beanspruchung eines Muskels in einem Bereich zwischen Atrophieschwelle und Trainingsschwelle liegt. Es erscheint jedoch nicht gleichgültig, ob ein Muskel mit einer Normalkraft von z.B. 20 kg in der Lage ist diese Kraft 10 oder 20 sec. lang zu halten. Deshalb sollten beide Faktoren bei einer Betrachtung der Trainingswirkung in gleichem Maß berücksichtigt werden. Stoboy, Nüssgen und Friedebold legten deshalb das Produkt aus Kraft und der Zeit, die diese maximal aufrecht erhalten werden kann, als Kriterium der Trainingswirkung zugrunde.

Die Definition dieses Begriffes macht jedoch einige Schwierigkeiten, da er weder mit Arbeit im physikalischen Sinn (Kraft x Weg) noch mit Leistung (Arbeit/Zeiteinheit) identisch ist. Da ein bestimmter Energieumsatz für jede Muskelkontraktion, also auch für isometrische, nachzuweisen ist, schlug bereits Frank vor, statt des Ausdruckes "statische Arbeit" den Begriff "Statischer Energieumsatz" zu verwenden. Bethe ging dazu über, die "statische Arbeit" als sogenannten Trage-Rekord zu messen. Er bezog dabei allerdings das Produkt aus Kraft und Haltezeit auf den cm^2 physiologischen Querschnitt des Muskels. Da, vor allem bei gefiederten Muskeln, anatomischer und physiologischer Querschnitt weitgehend differieren können, ist dieser Begriff nicht ohne weiteres auf den Muskel in situ zu übertragen. Nach Friedebold möchten wir deshalb das genannte Produkt als Halteleistung definieren.

Entsprechend dem Vorgehen von Hettinger und Müller, unterwarfen Friedebold, Nüssgen und Stoboy[14] eine Reihe von Normalpersonen einem insgesamt zehn Wochen dauernden isometrischem Training. Dabei kontrahierten die Versuchspersonen (VPN) ihren M.quadriceps fem. 10 sec. lang mit maximaler Kraft. Von Woche zu Woche wurde der Kraftzuwachs ermittelt und die Belastung des Muskels entsprechend gesteigert. In Übereinstimmung mit Hettinger und Müller fanden die genannten Autoren einen wöchentlichen Kraftzuwachs von etwa 10%. Dagegen nahm die Zeit, die das maximale Gewicht jeweils gehalten werden konnte (Haltezeit), deutlich ab. Infolgedessen nahm die Halteleistung mit einer geringeren Steilheit zu (ca. 8% /Woche) als die Kraft. Es

ist also notwendig, bei der Beurteilung einer Trainingswirkung die zeitlichen Verhältnisse mit zu berücksichtigen. Durch die trainingsbedingte Hypertrophie des M.quadriceps fem. wurde auch eine deutliche Zunahme des Oberschenkelumfangs während des Trainings gefunden.

Gleichzeitig ist mit der wöchentlichen Ermittlung der mechanischen Größen (Kraft, Haltezeit, Halteleistung, Umfang) die Ableitung und Registrierung der Aktionspotentiale des M.quadriceps fem. erfolgt.

Jeder Erregungsablauf über eine Muskelfaser ist mit einer Depolarisation der Membran verbunden (siehe z.B. Schaefer), sodaß die zwischen erregten und unerregten Stellen auftretenden Potentialdifferenzen über geeignete Verstärker und Aufzeichnungsgeräte als Aktionspotentiale registriert werden können (Piper, Hoffmann, Wacholder, Buchthal). Leitet man die Aktionspotentiale mit Oberflächenelektroden ab, die unter Zuhilfenahme eines geeigneten Kontaktmittels (z.B. gesättigte Kochsalzlösung) auf der über dem Muskel liegenden Haut befestigt werden, so erfaßt man die Summe aller im Bereich dieser Elektroden auftretenden Einzelaktionspotentiale. Nach elektrischer Gleichrichtung durch Gleichrichter und Kondensatoren erfolgt eine aktionspotentialbedingte Auslenkung des registrierenden Instrumentes nur immer in einer Richtung von der Null- Linie. Die Größe der Fläche, die von der Null- Linie und der aufgezeichneten Auslenkung umschrieben wird, kann als Maß für die "elektrische Aktivität" des Muskels angesehen werden. Im allgemeinen wird angegeben, daß bei untrainierten VPN mit zunehmender Belastung eines Muskels auch die "elektrische Aktivität" ansteigt. (Bergström; Dempster und

Finerty;Lindsley;Lippold;Snyder und Mitarbeiter).
Da bei den Untersuchungen von Friedebold, Nüssgen und Stoboy der Verlauf der elektrischen Aktivität durch die abnehmende Haltezeit mitbestimmt wird, eliminierten sie diesen Faktor dadurch, daß sie die elektrische Aktivität durch die Haltezeit in sec. dividierten. Die so ermittelte "mittlere elektrische Aktivität" zeigte zu Beginn des Trainings einen steilen Anstieg, um im weiteren Verlauf kontinuierlich abzufallen, wobei der Endwert deutlich unter Ausgangswert lag.
Der trotz zunehmender Kraft erfolgende Abfall der mittleren elektrischen Aktivität während des Trainings kann theoretisch zwei Ursachen haben, zu deren Analyse eine Vorbemerkung erlaubt sei.
Die kleinste funktionelle Einheit eines Skelettmuskels ist nicht die Muskelfaser sondern die sogenannte "motorische Einheit". Darunter versteht man alle von einer einzigen motorischen Verderhornzelle innervierten Muskelfasern. (Eccles und Sherrington; Hunt und Kuffler). Entsprechend der Abstufbarkeit einer Willkürkontraktion gehören zu einer motorischen Einheit wenige bis über tausend Fasern. Dabei sind die einzelnen motorischen Einheiten nicht streng voneinander gesondert sondern durchflechten sich gegenseitig (Buchthal, Guld und Rosenfalck; Buchthal[6,7]). Unter Normalbedingungen entladen sich alle zu einer motorischen Einheit gehörigen Fasern synchron, d.h. es wird von ihnen bei einer Erregung ein Aktionspotential abgeleitet werden können. Eine stärkere Verkürzung der Fasern einer motorischen Einheit erfolgt über eine Zunahme der Innervationsfrequenz von der motorischen Vorderhornzelle her (Friedebold,

Nüssgen und Stoboy[13]). Die Abstufung einer Willkürkontraktion ist deshalb durch 2 verschiedene Mechanismen möglich:

1. Mit zunehmender Anzahl sich gleichzeitig kontrahierender Einheiten steigt die Kraft des gesamten Muskels an.
2. Eine Verstärkung der Kontraktion innerhalb einer einzelnen motorischen Einheit ist dadurch möglich, daß die Entladungsfrequenz zunimmt.

Die Abnahme der mittleren elektrischen Aktivität während des Trainings könnte also vorwiegend durch einen dieser beiden Faktoren oder auch durch beide bedingt sein.

Die Innervationsfrequenz motorischer Einheiten läßt sich nicht mit Oberflächenelektroden bestimmen. Werden dagegen coaxiale Nadelelektroden nach Adrian und Bronk in den Muskel eingestochen, so erfaßt man damit die Aktionspotentiale der zunächst liegenden 4-6 motorischen Einheiten. Entsprechend der Größe und Form der Aktionspotentiale, lassen sich die Entladungsfrequenzen jeder einzelnen dieser motorischen Einheiten ermitteln (Buchthal[6]).

An einer weiteren VPN-Gruppe führten Stoboy, Nüssgen und Friedebold das bereits beschriebene isometrische Training durch, leiteten jedoch die Aktionspotentiale des Muskels mit coaxialen Nadelelektroden ab. Durch eine Auszählung der Entladungsfrequenzen der einzelnen motorischen Einheiten konnten sie feststellen, daß eine Abnahme der elek-

trischen Aktivität während des Trainings im wesentlichen nicht auf eine Verminderung der Innervationsfrequenz bezogen werden kann. Daraus zogen sie den Schluß, daß mit fortschreitendem Training immer weniger motorische Einheiten gleichzeitig zur Entladung gelangen. Der Skelettmuskel ist also in der Lage ansteigende Halteleistungen mit geringer werdendem Aufwand zu vollbringen. Den zu Beginn des Trainings gefundenen Anstieg der mittleren elektrischen Aktivität führten sie darauf zurück, daß ein größerer Kraftaufwand zunächst nur durch einen vermehrten Einsatz von motorischen Einheiten erzwungen werden kann, bevor die eigentliche Trainingswirkung, d.h. die Rationalisierung der Kontraktion einsetzt.

Aus den Erfahrungen der Sportmedizin ist bekannt, daß sich in Abhängigkeit von der Konstitution einzelne Personen mehr für Kraft-, andere mehr für ein Ausdauertraining eignen. Durch Überprüfung des gesamten von Friedebold, Nüssgen und Stoboy[14]; Friedebold und Stoboy gewonnenen Materials sollte festgestellt werden, ob bereits unter den vereinfachten Bedingungen eines isometrischen Trainings in verschiedenen Klassen von VPN Unterschiede im Verhalten der Kraft, der Ausdauer (Haltezeit) und der Halteleistung auftreten können. Es galt darüberhinaus festzustellen, ob auch die elektrische Aktivität ein abweichendes Verhalten in den einzelnen Klassen aufweist, d.h. ob eine Verminderung der Anzahl gleichzeitig motorisch innervierter Einheiten während des Trainings in gleicher Weise erfolgt.

Methodik

In dieser Arbeit wurden Versuche an 41 Krankengymnastinnen im Alter von 19 - 28 Jahren statistisch ausgewertet, die von Friedebold, Nüssgen und Stoboy[14] bzw. Friedebold und Stoboy durchgeführt wurden. Die genannten VPN wurden einem 10 Wochen dauernden Training unterzogen, wobei sie täglich 10 sec. lang ihren M.quadriceps fem. mit der von Woche zu Woche neu bestimmten Maximalkraft isometrisch kontrahieren mußten.

Einmal wöchentlich wurde der Trainingserfolg, wie nachstehend angegeben, kontrolliert: Die VPN lag mit dem Rücken auf einem Untersuchungstisch, sodaß die Körperlängsachse und der zu untersuchende Oberschenkel einen Winkel von ca. 170 Grad bildeten. Das untersuchte Bein war nur bis zum Kniegelenk vom Untersuchungstisch unterstützt. Die jeweilige Maximalkraft wurde so bestimmt, daß der Unterschenkel mit äußerster Kraft gegen eine starke Federwaage gestreckt werden mußte. Anschließend mußte die VP die von der Federwaage abgelesene Kraft bis zur Erschöpfung am ausgestreckten Bein halten. Wie bei der Bestimmung der Maximalkraft wurde hierbei unmittelbar oberhalb des Knöchels ein entsprechend großes Gewicht aufgehängt

Der Oberschenkelumfang wurde jeweils in gleicher Höhe (Messung vom oberen Patellarand aus, bei völlig entspannter Muskulatur in Streckstellung des Kniegelenkes) ermittelt.

Gleichzeitig wurden die Aktionspotentiale des M.quadriceps fem. mit jeweils an gleicher Stelle befindlichen Oberflächenelektroden abgeleitet und mit einem RC- Verstärker verstärkt. Nach ihrer Gleichrichtung wurden sie einem Kathodenstrahloscillographen zugeleitet und registriert. Die Fläche zwischen Null-Linie und Auslenkung des Kathodenstrahls in cm^2 konnte aus einer Eichkurve bestimmt werden. Der Papiervorschub betrug dabei 1cm/sec; Zeitmarken wurden im Abstand von 100 msec. mitregistriert. So war es möglich, die genaue Haltezeit in sec. zu bestimmen. Durch Division der ermittelten Fläche durch die Haltezeit ergab sich die mittlere elektrische Aktivität (EA). Das Produkt aus Kraft und Haltezeit ergab die Halteleistung. Da unsere VPN aus Berufsgründen nur über ein relativ geringes Unterhautfettgewebe im Bereich des Oberschenkels verfügen, kann man den Oberschenkelumfang als Maß für die vorhandene Muskelmasse einsetzen. Deshalb wurden die VPN je nach Größe des Oberschenkelumfanges in 3 Klassen eingeteilt, die sich wie folgt zusammensetzen:

Klasse I : 43 - 45,5 cm Oberschenkelumfang, 14 VPN
Klasse II : 46 - 48,5 cm Oberschenkelumfang, 14 VPN
Klasse III: 49 cm und größer, 13 VPN

Die angegebenen Größen wurden wie folgt statistisch ausgewertet:

$$\sigma_x \text{ bzw. } \sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n-1}}$$

$$r = \frac{\Sigma \Delta_x \cdot \Delta_y}{(n-1)\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Der Korrelationskoeffizient r wurde nur berechnet, um zu erkennen, ob eine Funktion als angenähert linear angesehen werden konnte.

Der Regressionskoeffizient $b = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot r$ gibt an, in welcher Weise die Regressionslinie pro Einheit der Abscisse anwächst oder abfällt.

Mit den Ausdrücken $\sigma^2_b = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot \sqrt{\frac{1 - r^2}{n}}$

$$\text{bzw. } \sigma_{y \cdot x} = \sigma_y \cdot \sqrt{1 - r^2}$$

wird die Streuung um den Regressionskoeffizienten bzw. um den Trend der Regression angegeben.

Signifikanzen wurden nach der Methode von Student-Fischer ermittelt, wobei das σ_D wie folgt berechnet wurde:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{ny} + \frac{\sigma_y^2}{nx}}$$

Unterschiede in der Anstiegssteilheit zwischen zwei Regressionen wurden mit folgender Formel ermittelt:

$$\sigma_{b_1 - b_2} = \sqrt{\sigma^2_{b_1} + \sigma^2_{b_2}}$$

E R G E B N I S S E

Das Verhalten der Kraft in den drei Umfangsklassen im Verlauf des Trainings (Abb.1).

Klasse I: Im Verlauf des Trainings steigt die Kraft mit einem r von +0,99 von 22,3 kg auf 45,0 kg, d.h. um 102% an. Der wöchentliche Kraftzuwachs beträgt dabei 2,33 kg. Anfangs- und Endwerte sind sicher signifikant verschieden. 1)2)

Klasse II: Auch in dieser Umfangsklasse zeigt sich bei einem r von + 0,99 eine praktisch geradlinige Kraftzunahme von 25,2 kg auf 45,7 kg (um 81,3%). In einer Woche nimmt die Kraft um 2,04 kg zu. Der Unterschied zwischen Anfangs- und Endwerten ist statistisch gesichert.

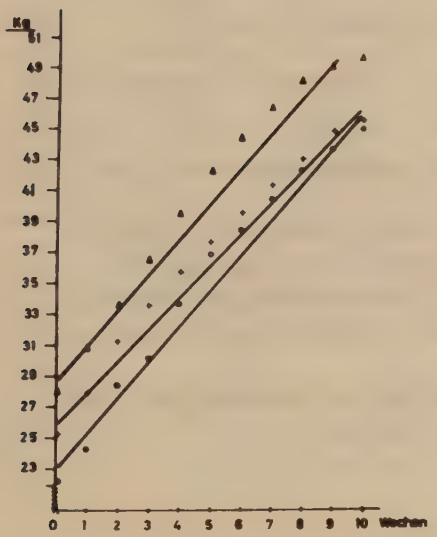

Abb. 1:
Kraftanstieg während des Trainings in den 3 Umfangsklassen.
Abscisse:
Trainingswochen;
Ordinate:
Kraft in kg.

Klasse I: ●●●
Klasse II: +++
Klasse III: ▲▲▲

Die eingetragenen Geraden stellen die errechneten Regressionsgeraden dar.

Klasse III: Wie in den Klassen mit kleinerem Oberschenkelumfang ergibt sich während des Trainings bei einem r von + 0,99 ein linearer Kraftanstieg. Bei einem Ausgangswert von 28,0 kg nimmt bei einem wöchentlichen Anstieg von 2,30 kg die Kraft auf 49,8kg, d.h. um 77,9% zu, wobei sich Anfangs- und Endwerte sicher unterscheiden.

Die Ausgangswerte der Klassen III und II liegen signifikant über denen der Klassen II bzw. I. Entsprechend unterscheiden sich diese Werte auch in den Klassen III und I am deutlichsten. Zwischen den Endwerten der Klassen I und II besteht kein statistisch gesicherter Unterschied. Nur der Endwert der Klasse III ist mit geringer Sicherung größer als der der Klasse I. [3]

Der Kraftanstieg in der Klasse I erfolgt sicher steiler als der in der Klasse II. Die Steilheit der Kraftzunahme zwischen den klassen II und III ist geringer ausgeprägt. Im Vergleich zur Klasse I zeigt der Kraftzuwachs der Klasse III keine signifikanten Unterschiede. [4]

---

1) Die Werte für die Regressionsberechnung sind in der Tabelle I wiedergegeben.

2) Die Werte für die Signifikanzberechnung der Anfangs- und Endwerte sind in der Tabelle II wiedergegeben.

3) Die Werte für die Signifikanzberechnung der Anfangs- und Endwerte zwischen den 3 Klassen sind in Tabelle III zu finden.

4) Die Signifikanzberechnung für die Steilheit der Funktionen gibt die Tabelle IV wieder.

Tab. I : Korrelations- Regressions- Streuungs- und Prozentberechnungen für die Veränderung der einzelnen Größen der 3 Umfangsklassen während des Trainings. Die Bedeutung der Symbole in den einzelnen Spalten sind aus der Methodik zu entnehmen.

Klassen	n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	r	b	σ_b	σ_{xy}	E/A %	A/Gipfel %	Gipfel/E%
Kraft kg										
I	11	3,317	7,823	+0,989	+2,333	0,1052	1,150	+102		
II	11	3,317	6,841	+0,991	+2,044	0,08325	0,642	+81,3		
III	11	3,317	7,727	+0,986	+2,296	0,1171	0,131	+77,9		
Umfang cm										
I	11	3,317	0,769	+0,891	+0,207	0,0316	0,349	+6,3		
II	11	3,317	0,894	+0,970	+0,261	0,01975	0,219	+6,4		
III	11	3,317	0,956	+0,888	+0,256	0,0399	0,462	+5,8		
Haltezeit sec										
I	11	3,317	1,735	-0,594	-0,311	0,1268	1,396	-8,0		
II	11	3,317	3,564	-0,880	-0,946	0,1538	1,698	-35,0		
III	11	3,317	4,301	-0,930	-1,206	0,1935	1,580	-39,0		
Halteleistung kg · sec										
I	11	3,317	137,11	+0,803	+33,19	7,427	81,69	+85,65	---	---
II	11	3,317	88,034	+0,578	---	7,407	---	+11,81	+44,76	-18,45
III	11	3,317	108,628	+0,185	---	9,703	---	+ 9,35	+44,52	-24,36
Elektrische Aktivität				cm^2/sec						
I	11	3,317	0,053	-0,875	-0,0140	0,0023	0,0257	-18,8	+21,5	-33,1
II	11	3,317	0,039	-0,904	-0,0107	0,0015	0,0168	-16,4	+ 5,8	-20,9
III	11	3,317	0,039	-0,948	-0,0110	0,0012	0,0123	-25,6	---	---

		n	Diff.MW	σ_{y_1}	σ_{y_2}	σ_D	P
Kraft kg							
I	A/E	14	22,7	1,98	6,11	1,72	< 0,001
II	A/E	14	20,5	3,55	8,27	2,41	< 0,001
III	A/E	13	21,8	4,46	7,04	2,33	< 0,001
Umfang cm							
I	A/E	14	2,75	0,94	1,84	0,55	< 0,001
II	A/E	14	3,00	0,84	2,21	0,63	< 0,001
III	A/E	13	2,93	3,12	2,95	1,20	> 0,01
Haltezeit sec							
I	A/E	14	1,86	12,81	7,56	3,98	< 0,40
II	A/E	14	9,78	14,60	9,08	4,59	> 0,02
III	A/E	13	11,04	17,55	5,68	5,12	> 0,02
Halteleistung kg · sec							
I	A/E	14	423,57	73,55	112,25	37,28	< 0,001
II	A/E	14	128,16	142,12	144,60	66,55	< 0,05
II	A/G	14	334,80	142,13	516,72	143,18	> 0,01
II	G/E	14	188,64	516,72	144,60	143,53	> 0,10
III	A/E	13	74,45	201,99	218,40	82,52	< 0,20
III	A/G	13	354,50	201,99	620,40	181,11	> 0,02
III	G/E	13	280,00	620,48	218,40	190,00	< 0,10
Elektrische Aktivität cm^2/sec							
I	A/E	14	0,1028	0,0409	0,0406	0,0154	< 0,001
I	A/G	14	0,1182	0,0409	0,0501	0,0173	< 0,001
I	G/E	14	0,2210	0,0501	0,0406	0,0172	< 0,001
II	A/E	14	0,0762	0,0935	0,0716	0,0315	> 0,01
II	A/G	14	0,0267	0,0935	0,4347	0,1187	> 0,40
II	G/E	14	0,1029	0,4347	0,0716	0,1179	> 0,20
III	A/E	13	0,0886	0,0602	0,0683	0,0253	< 0,001

Tab. II: Berechnung der Signifikanzen für die verschiedenen Größen innerhalb der drei Umfangsklassen. Die Bedeutung der Symbole ist in der Methodik angeführt.

	n	Diff.MW	σ_{y_1}	σ_{y_2}	σ_D	P
Kraft kg						
AI/AII	14	- 2,9	1,98	3,55	1,09	< 0,01
AII/AIII	14	- 2,8	3,55	4,46	1,55	< 0,05
AI/AIII	14	- 5,7	1,98	4,46	1,31	< 0,001
EI/EII	14	- 0,7	6,11	8,27	2,75	> 0,40
EII/EIII	14	- 4,1	8,27	7,04	1,38	< 0,10
EI/EIII	14	- 4,8	6,11	7,04	2,53	< 0,05
Umfang cm						
AI/AII	14	2,86	0,94	0,84	0,34	< 0,001
AII/AIII	14	4,06	0,84	3,12	0,86	< 0,001
AI/AIII	14	6,92	0,94	3,12	0,87	< 0,001
EI/EII	14	3,11	1,84	2,21	0,77	< 0,001
EII/EIII	14	9,64	2,21	2,95	0,99	< 0,001
EI/EIII	14	12,75	1,83	2,95	0,94	< 0,001
Haltezeit sec						
AI/AII	14	5,81	12,81	14,60	5,19	< 0,20
AII/AIII	14	0,39	14,60	17,55	6,20	> 0,20
AI/AIII	14	6,20	12,81	17,55	5,88	< 0,20
EI/EII	14	2,35	7,56	9,08	3,16	< 0,30
EII/EIII	14	0,87	9,08	5,68	2,94	< 0,400
EI/EIII	14	3,04	7,56	5,68	2,59	< 0,20
Halteleistung kg · sec						
AI/AII	14	218,85	73,55	142,12	42,78	< 0,001
AII/AIII	14	88,51	142,12	201,99	66,86	> 0,10
AI/AIII	14	301,56	73,55	201,99	57,71	< 0,001
EI/EII	14	82,36	112,25	144,60	48,98	> 0,05
EII/EIII	14	34,80	144,60	218,44	70,85	> 0,30
EI/EIII	14	47,56	112,25	218,44	66,18	< 0,30
GI/GII	14	126,20	516,72	220,40	154,92	> 0,20
elektrische Aktivität cm^2/sec						
AI/AII	14	0,0829	0,0409	0,0935	0,0273	> 0,001
AII/AIII	14	0,1172	0,0935	0,0602	0,0305	< 0,001
AI/AIII	14	0,2001	0,0409	0,0602	0,0199	< 0,001
EI/EII	14	0,0563	0,0406	0,0716	0,0220	> 0,01
EII/EIII	14	0,1296	0,0716	0,0683	0,0279	< 0,001
EI/EIII	14	0,1859	0,0406	0,0683	0,0215	< 0,001
GI/GII	14	0,1744	0,0501	0,4347	0,1517	< 0,20

Tab.III:

Signifikanzwerte der einzelnen Größen zwischen den 3 verschiedenen Umfangsklassen. Die Bedeutung der Symbole ist der Methodik zu entnehmen.

	n	σ_{b_1}	σ_{b_2}	$b_1 - b_2$	$\sigma_{b_1-b_2}$	P
K r a f t kg						
$F_I - F_{II}$	11	0,1052	0,0833	0,289	0,134	> 0,02
$F_{II} - F_{III}$	11	0,0833	0,1171	0,252	0,142	> 0,05
$F_I - F_{III}$	11	0,1052	0,1171	0,037	0,117	< 0,40
U m f a n g cm						
$F_I - F_{II}$	11	0,0316	0,0198	0,0055	0,0373	< 0,40
$F_{II} - F_{III}$	11	0,0198	0,0399	0,0050	0,0445	< 0,40
$F_I - F_{III}$	11	0,0316	0,0399	0,0490	0,0399	> 0,10
H a l t e z e i t sec						
$F_I - F_{II}$	11	0,1268	0,1538	0,635	0,1992	< 0,01
$F_{II} - F_{III}$	11	0,1538	0,1935	0,260	0,2472	< 0,20
$F_I - F_{III}$	11	0,1268	0,1935	0,895	0,2313	< 0,01
e l e k t r i s c h e A k t i v i t ä t cm^2/sec						
$F_I - F_{II}$	11	0,0023	0,0015	0,0033	0,0086	> 0,30
$F_{II} - F_{III}$	11	0,0015	0,0011	0,0003	0,0019	> 0,40
$F_I - F_{III}$	11	0,0023	0,0011	0,0029	0,0025	> 0,10

Tab.IV: Signifikanzwerte für die Anstiegssteilheit der Funktionen zwischen den einzelnen Umfangsklassen. Die Bedeutung der Symbole ist im Kapitel Methodik nachzulesen.

Das Verhalten des Umfangs in den drei Umfangsklassen im Verlauf des Trainings (Abb.2).

Klasse I: In der Klasse I nimmt der Umfang des Oberschenkels von 44,0 cm bis 46,8 cm mit einem r von + 0,89, d.h. um 6,3 % nahezu linear zu. Der wöchentliche Zuwachs des Umfangs beträgt dabei 0,21 cm. Sowohl die Anfangs- als auch Endwerte unterscheiden sich signifikant.

Klasse II: In der Klasse II wächst der Umfang mit einem r von + 0,97 um 6,4 %, d.h. von 46,9 cm auf 49,9 cm an. Die wöchentliche Umfangszunahme beträgt dabei + 0,26 cm. Ausgangs- und Endwerte unterscheiden sich sicher.

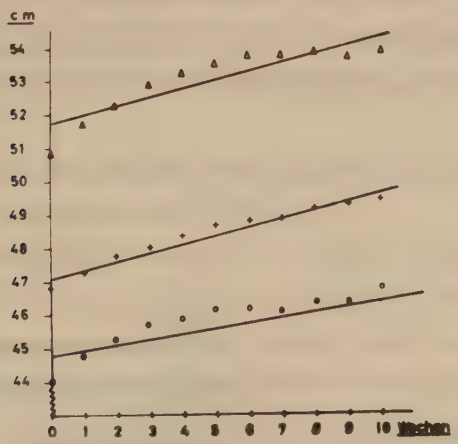

Abb.2 : Zunahme des Oberschenkelumfanges während des Trainings. Abscisse: Trainingswochen; Ordinate: Oberschenkelumfang in cm.
Klasse I: ● ● ● Klasse II: ✦ ✦ ✦ Klasse III: ▲ ▲ ▲
Die eingetragenen Geraden stellen die errechneten Regressionsgeraden dar.

Klasse III:

Auch in Klasse III steigt der Umfang von 50,9 cm mit einem r von 0,89 um 5,8% an. In einer Trainingswoche nimmt der Umfang um + 0,26 cm zu. Der Endwert liegt noch deutlich über dem Ausgangswert. Die Anfangs- und Endwerte aller Klassen unterscheiden sich sicher mit der gleichen Wahrscheinlichkeit.

Eine verschiedene Steilheit der Funktionen ist nicht sicher zu ermitteln.

Das Verhalten der Haltezeit in den 3 Umfangsklassen im Verlauf des Trainings (Abb.3).

Klasse I: Die Abnahme der Haltezeit erfolgt unregelmäßig und schwankend. Bei einem r von - 0,59 nimmt sie nur um 8,0% ab. Anfangs- und Endwerte unterscheiden sich kaum.

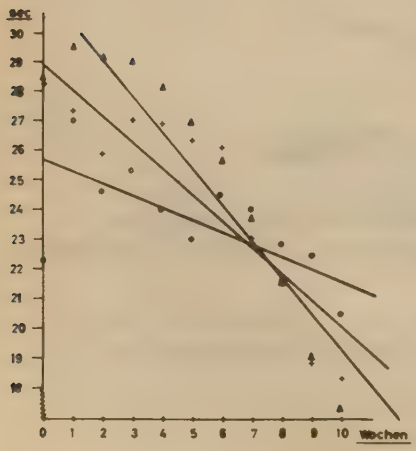

Abb. 3:
Das Verhalten der Haltezeit während des Trainings
Abscisse:
Trainingswochen;
Ordinate:
Haltezeit in sec.

Klasse I: ○ ○ ○
Klasse II: + + +
Klasse III: ▲ ▲ ▲

Die eingetragenen Geraden stellen die errechneten Regressionsgeraden dar.

Klasse II: Die Haltezeit nimmt wesentlich steiler und geradliniger ab (r = - 0,88). Sie vermindert sich wöchentlich um 0,95 sec., insgesamt um 35%. Deswegen liegt der Endwert sicher unter dem Ausgangswert.

Klasse III: In dieser Klasse nimmt die Haltezeit noch steiler, um 39 % mit einem r von - 0,93, ab. Wöchentlich vermindert sie sich um 1,2 sec. Auch hier ist der Endwert gegenüber dem Anfangswert deutlich vermindert.

Obgleich der Abfall der Haltezeit in den einzelnen Klassen so verschieden erfolgt, sind weder zwischen Anfangs- noch Endwerten sichere Unterschiede nachzuweisen.

Dagegen kommt die verschiedene Steilheit des Abfalls beim Vergleich zwischen den Klassen I und II und I und III deutlich zum Ausdruck, während die Klassen II und III keinen statistisch signifikanten Unterschied aufweisen.

Das Verhalten der Halteleistung in den drei Umfangsklassen im Verlauf des Trainings (Abb. 4).

Nur in der Klasse I steigt die Halteleistung nahezu linear mit einem r von + 0,80 an. Der Endwert liegt 85,65% über dem Ausgangswert und ist von diesem sicher zu unterscheiden. In den beiden anderen Klassen wird in der 5.Woche ein Gipfel erreicht. Im weiteren Verlauf des Trainings streben die Werte wieder gegen den Ausgangswert. In beiden Klassen liegt der Gipfel mit etwa 44% über dem Anfangswert, um dann in Klasse II um 18,45%, in Klasse III um 24,36% abzusinken.

Anfangs- und Endwerte weisen in Klasse II noch einen geringgradig gesicherten Unterschied auf; in Klasse III ist keine signifikante Differenz mehr nachzuweisen. Beide Gipfel liegen sicher über den jeweiligen Ausgangswerten, während die Endwerte den Gipfel nicht mehr ausreichend gesichert unterschreiten.

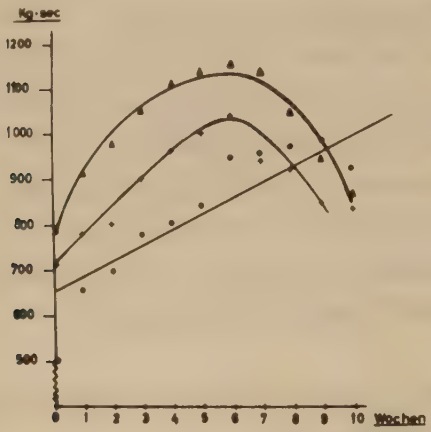

Abb.4: Das Verhalten der Halteleistung in den 3 Umfangsklassen während des Trainings. Abscisse: Trainingswochen; Ordinate: Halteleistung (kg·sec.).
Klasse I: ● ● ● Klasse II: ✦ ✦ ✦ Klasse III: ▲ ▲ ▲
Die für die Klasse I eingetragene Gerade stellt die errechnete Regressionsgerade dar. Die für die Klassen II und III eingetragenen Kurven sind interpoliert.

Die Ausgangswerte der Gruppe I sind deutlich kleiner als die der Gruppen II und III, während eine Signifikanz zwischen den Anfangswerten der Klassen II und III nicht mehr sicher nachzuweisen ist. Auch bei Betrachtung der Endwerte liegen

nur die der Klasse I mit geringer Sicherung über denen der Klasse II, während sich die anderen Werte nicht signifikant unterscheiden. Auch die beiden Gipfelwerte weisen keine deutliche Differenz auf.

Das Verhalten der elektrischen Aktivität in den drei Umfangsklassen im Verlauf des Trainings (Abb.5).

Klasse I: Die elektrische Aktivität erreicht nach der ersten Trainingswoche einen Gipfel, der den Ausgangswert um 21,5% übersteigt und von ihm sicher signifikant verschieden ist. Anschließend fällt die elektrische Aktivität im Verlauf des weiteren Trainings nahezu kontinuierlich ab und unterschreitet zu Trainingsende den Ausgangswert beträchtlich. Trotz dieses Verhaltens beträgt r noch -0,88. Der Unterschied zwischen Anfangs- und Endwerten ist gleichfalls statistisch gesichert.

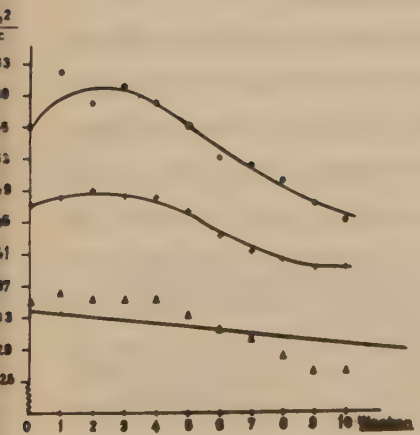

Abb.5:
Das Verhalten der elektrischen Aktivität in den 3 Umfangsklassen während des Trainings
Abscisse:
Trainingswochen;
Ordinate: elektrische Aktivität (cm^2/sec.).
Klasse I: ● ● ●
Klasse II: + + +
Klasse III: ▲ ▲ ▲
Die für die Klasse III eingetragene Gerade ist die errechnete Regressionsgerade.
Die für die Klassen I und II eingetragenen Kurven sind interpoliert.

Klasse II: Die elektrische Aktivität nimmt bis zur zweiten Trainingswoche zu und überschreitet den Ausgangswert um 5,8%. Anschließend wird sie wieder kleiner, und ihr Endwert liegt unter dem Ausgangswert. Mit einem r von - 0,90 ist der Kurvenverlauf nahezu linear. Nur der Unterschied zwischen Anfangs- und Endwert ist statistisch gesichert.
Klasse III: Ein Gipfel ist in dieser Klasse praktisch nicht mehr nachweisbar. Mit einem r von - 0,95 fällt die Funktion weit unter den Ausgangswert ab und unterschreitet diesen mit Ende des Trainings signifikant.
Anfangs- und Endwerte der Klasse I liegen signifikant über denen der Klasse II, die der Klasse II über denen der Klasse III. Auch in Bezug auf die Steilheit des Abfalls der drei Funktionen konnte keine sichere signifikante Differenz festgestellt werden.

B E S P R E C H U N G d e r E R G E B N I S S E

Die Kraftzunahme im Verlauf des Trainings

Wie in den Untersuchungen von Hettinger und Müller; Friedebold, Nüssgen und Stoboy[14] stieg die Kraft im Verlauf von 10 Trainingswochen in allen drei Klassen praktisch linear an. Der größte prozentuale Kraftzuwachs konnte dabei in der Klasse I beobachtet werden, der kleinste in der Klasse III. Dabei beginnt die Klasse III ihr Training mit den größten Gewichten, und auch die Endwerte dieser Klasse liegen höher als die der beiden anderen. Zwischen den Klassen I und II besteht dagegen kaum ein Unterschied. Der Kraftzuwachs

erfolgt in der Klasse I am schnellsten, in den beiden anderen Klassen sind die Winkel zwischen Abscisse und Regressionen statistisch nicht verschieden. Auch bei geringem Ausgangsumfang des Oberschenkels weist die Muskulatur bei dem beschriebenen isometrischen Training eine erhebliche, prozentual gesehen, sogar die größte Kraftsteigerung auf. Trotzdem erreicht in dieser Klasse die Kraft gegen Ende des Trainings nicht die gleichen Werte wie die VPN mit dem größten Oberschenkelumfang. Bei den VPN der Klasse III handelt es sich offensichtlich um besonders muskelkräftige Individuen, deren Muskelkraft im Verlauf des Trainings prozentual nicht mehr in dem gleichen Ausmaß gesteigert werden konnte, wie die der anderen beiden Klassen.

Bei dem recht gleichartigen Tagesablauf unsererVPN darf man annehmen, daß ein minimaler täglicher Trainingsreiz, der notwendig ist, um eine Muskelatrophie zu verhindern, auch vor Beginn des Trainings bei allen VPN gegeben war. So ist zu erwarten, daß die unterschiedliche Muskelmasse der Oberschenkelmuskulatur von konstitutionellen Faktoren abhing, und daß die Unterschiede des Kraftzuwachses im Verlauf des Trainings gleichfalls darauf zurückzuführen sind. Ein Hinweis hierfür ergibt sich aus der Betrachtung des Oberschenkelumfanges im Verlauf des Trainings.

Die Umfangszunahme des Oberschenkels im Verlauf des Trainings

Die Hypertrophie eines Muskels besteht in einer Zunahme des Querschnittes der Einzelfaser, wie bereits Morpurgo und

Thörner an trainierten Hunden nachweisen konnten (siehe auch Humoller, Hatch und McIntyre). Für den Grad der Faserhypertrophie soll dabei ausschließlich das Ausmaß der Aktivität des Muskels verantwortlich sein (Gutmann und Guttmann). In den 3 Umfangsklassen nahm der Oberschenkelumfang während des Trainings recht kontinuierlich zu, und zwar prozentual gesehen, um etwa den gleichen Betrag. Dabei erfolgte die Steilheit des Anstieges in allen drei Klassen praktisch gleichmäßig; deshalb wiesen alle Anfangs- und Endwerte deutliche Unterschiede auf. Aus den Untersuchungen von Friedebold, Stoboy und Nüssgen geht hervor, daß der atrophische Muskel eine prozentual stärkere Umfangszunahme während des Trainings aufweist als der normale, d.h. daß die Steilheit der Umfangszunahme größer ist. Da in dieser Untersuchung in allen drei Klassen praktisch parallele Anstiege gefunden werden, ist eine Muskelatrophie bei den VPN mit geringstem Oberschenkelumfang aus diesem und dem vorgenannten Grund mit Sicherheit auszuschließen. Das Verhalten des Oberschenkelumfanges stützt also die Aussage, daß Unterschiede im Kraftzuwachs zwischen den drei Klassen im Verlauf des Trainings konstitutionell bedingt sein können.

Die Veränderung der Haltezeit im Verlauf des Trainings

Während eines isometrischen Trainings nimmt die Zeit, die die jeweils ermittelte maximale Kraft aufrecht erhalten werden kann, nahezu kontinuierlich ab (Stoboy, Nüssgen und Friedebold). Der Muskel kann also die im Verlauf des Trainings ansteigenden Gewichte immer kürzere Zeit halten,

d.h. seine Ausdauer nimmt stetig ab. In den 3 Klassen ergeben sich in Bezug auf die Haltezeit sehr erhebliche Unterschiede , wie bereits Korrelationskoeffizient und Regressionskoeffizient zeigen. In der Klasse I tritt nur ein Abfall von etwa 8% auf, in den beiden anderen Klassen beträgt die Abnahme 35% bzw. 39%. Die Klasse I scheint also die, absolut gesehen, kleineren Gewichte mit einer größeren Ausdauer halten zu können. als die beiden anderen Klassen. Das geht auch daraus hervor, daß die Regressionen der Klassen II und III deutlich steiler abfallen als die der Klasse I. Diese Betrachtung gibt einen Hinweis dafür, daß selbst unter den vereinfachten Bedingungen eines isometrischen Trainings verschiedene VPN, entsprechend ihrer Konstitution, entweder besser auf Ausdauer oder besser auf Kraft zu trainieren sind, wie es ja auch Erfahrungen aus der Sportmedizin zeigen.

Die Veränderungen der Halteleistung im Verlauf des Trainings

Da die Halteleistung das Produkt aus Kraft und Haltezeit darstellt, ist zu erwarten, daß es wesentlich von der Abnahme der Haltezeit beeinflußt wird. Wie bereits besprochen, vermindert sich in der Klasse I die Haltezeit so wenig, daß sich zwischen Anfangs- und Endwert keine signifikante Differenz feststellen läßt. In dieser Klasse nimmt die Halteleistung noch nahezu linear, wenn auch weniger steil als die Kraft, zu. Die Gewichtszunahme muß also erheblich größer sein, als die Abnahme der Haltezeit (siehe Stoboy, Nüssgen und Friedebold).

In den beiden anderen Klassen findet man bis zur fünften Woche gleichfalls einen Anstieg des Produktes, im weiteren Verlauf des Trainings sinkt die Halteleistung aber wieder ab. Während die Anfangswerte der Klasse I deutlich niedriger liegen als die der beiden anderen Klassen, kehrt sich dieses Verhältnis in Bezug auf die Klasse II in der letzten Trainingswoche um. Der Endwert der Klasse I liegt jetzt höher als der der Klasse II. Zwischen den Endwerten von II und III gibt es keine sicheren Unterschiede. Aus diesen Ergebnissen geht deutlich hervor, daß die Messung der Kraft allein (Hettinger und Müller) nicht ausreicht um einen Aufschluß über den Verlauf eines isometrischen Trainings zu geben. Deshalb sahen Stoboy, Nüssgen und Friedebold die Halteleistung auch als besseres Kriterium für die Trainingswirkung an. Die stark abnehmenden Haltezeiten der Klassen II und III führen dazu, daß trotz hoher Werte für die Kraft in den letzten Wochen des Trainings, die Halteleistung absinkt. Allerdings liegen die Endwerte nicht mit ausreichender Sicherheit unter den Gipfelwerten. Nur in der Klasse I, in der, entsprechend der Konstitution, die Ausdauer trotz steigender Last kaum vermindert wird, unterliegt die Halteleistung einem stetigen Anstieg. In den beiden anderen Klassen steht der Kraftanstieg auf Kosten der Ausdauer im Vordergrund, sodaß bei den gegen Ende des Trainings erreichten großen Kräften die Halteleistung wieder geringer wird. Bourguignon, Marty und Scherrer konnten an untrainierten normalen Muskeln feststellen, daß Kraft und Haltezeit ein komplementäres Verhalten aufweisen.

Das würde bedeuten, daß mit zunehmender Beanspruchung der

raft eines Muskels die Haltezeit in gleichem Ausmaß abnimmt. ie Halteleistung müßte also ein etwa konstantes Verhalten eigen. Im Verlauf des Trainings mit maximaler isometrischer ontraktion ist offensichtlich ein solch komplementäres Verältnis nicht mehr gegeben. In Abhängigkeit von der Möglichkeit, einen bestimmten Personenkreis entweder mehr auf Kraft der mehr auf Ausdauer trainieren zu können, wurden die beschriebenen Veränderungen der Haltezeit festgestellt.

as Verhalten der elektrischen Aktivität im Verlaufe des Trainings

riedebold, Nüssgen und Stoboy[14] konnten feststellen, daß die lektrische Aktivität im Verlauf des Trainings weit unter den usgangswert absinkt. Dieses Verhalten ist theoretisch so zu rklären, daß entweder die Anzahl sich gleichzeitig kontrahierender motorischer Einheiten abnimmt, da beide Faktoren n der mit Oberflächenelektroden abgeleiteten elektrischen ktivität enthalten sind. Durch Ableitung der Aktionspotentiale einzelner motorischer Einheiten mit Hilfe von coaxialen adelelektroden während eines isometrischen Trainings konnten toboy, Nüssgen und Friedebold nachweisen, daß die Verminderung er elektrischen Aktivität in erster Linie nicht auf einer Verinderung der Entladungsfrequenzen beruht. Sie ist vielmehr arauf zurückzuführen, daß trotz steigender Kraft immer eniger motorische Einheiten gleichzeitig kontrahiert werden.

n allen drei Klassen findet man diese Verminderung der elekrischen Aktivität gegen Trainingsende, wobei im gesamten erlauf des Trainings die größte elektrische Aktivität in der

Klasse I, die kleinste in der Klasse III zu finden ist. Wir müssen also annehmen, daß die konstitutionell kräftigeren VPN bei maximaler Kontraktion eine geringere Anzahl von motorischen Einheiten gleichzeitig betätigen müssen, um eine maximale Kraft aufbringen zu können. Wahrscheinlich ist dieser unterschiedliche Einsatz an motorischen Einheiten dadurch gegeben, daß die VPN- Klasse mit dem größten Oberschenkelumfang auch den größten Durchmesser der einzelnen Muskelfaser aufweist und damit trotz größerer Lasten weniger motorische Einheiten einzusetzen braucht. Das Absinken der elektrischen Aktivität unter den Ausgangswert ist in allen drei Klassen signifikant. Demnach müßte ein Muskel im Verlauf des Trainings in der Lage sein, größer werdende Lasten mit einem kleineren Aufwand sich gleichzeitig kontrahierender motorischer Einheiten zu halten, d.h. seine Arbeit würde ökonomischer werden. Diese "Desynchronisation" vollzieht sich in allen Klassen mit der gleichen Steilheit.

Unterschiede im Verhalten der elektrischen Aktivität zwischen den einzelnen Klassen können zu Beginn des Trainings beobachtet werden. Im Verlauf der ersten Trainingswoche steigt in der Klasse I die elektrische Aktivität steil an, um dann nach Erreichen eines Gipfels wieder abzufallen. Offensichtlich müssen die besser auf Ausdauer zu trainierenden VPN zunächst einmal vermehrt motorische Einheiten einsetzen, um eine größere Last zu halten. In der Klasse II tritt im entsprechenden Diagramm nach der zweiten Woche auch noch ein Gipfel auf, jedoch ist dieser gegenüber dem Ausgangswert statistisch nicht mehr

zu sichern. In der Klasse III ist nur noch ein nahezu linearer Abfall der elektrischen Aktivität zu beobachten. Friedebold, Stoboy und Nüssgen konnten bei einem isometrischen Training atrophierter Skelettmuskeln nachweisen, daß in den letzten Trainingswochen die elektrische Aktivität gleichfalls vermindert wird und der Endwert den Ausgangswert unterschreitet. Zu Beginn des Trainings kam es gleichfalls zu einem Anstieg der Aktivität. Der Gipfel wurde jedoch erst nach der 5. Trainingswoche erreicht. Dabei lagen die Ausgangswerte für die Kraft für die VPN mit atrophischer Muskulatur wesentlich niedriger als die für normale VPN. Anscheinend muß ein Muskel erst einmal eine bestimmte Schwelle seiner maximalen Kraft erreichen, bevor eine Verminderung der sich gleichzeitig kontrahierenden motorischen Einheiten bei weiterer Kraftzunahme erzielt werden kann. In der Klasse III liegt der Ausgangswert für die Kraft bereits so hoch, daß ein vermehrter Einsatz der motorischen Einheiten zu Beginn des Trainings nicht mehr vorgenommen werden muß. Diese VPN- Gruppe scheint also am besten auf Steigerungen der Kraft trainierbar zu sein.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die an 41 Krankengymnastinnen während eines 10 Wochen dauernden isometrischen Trainings des M.quadriceps fem. ermittelten Werte (Kraft, Oberschenkelumfang, Haltezeit, Halteleistung und elektrische Aktivität) wurden wie folgt statistisch ausgewertet:

Die VPN wurden, entsprechend der Größe ihres Oberschenkelumfanges, in drei Klassen eingeteilt. Für diese 3 Klassen wurden die angeführten Werte im Verlauf des Trainings verfolgt und ihre Regressionen berechnet. Durch Signifikanzberechnungen wurde ermittelt, ob innerhalb einer Klasse oder zwischen den einzelnen Klassen statistisch faßbare Unterschiede festgestellt werden konnten.

Die VPN mit größtem Oberschenkelumfang wiesen, der größten Muskelmasse entsprechend, schon zu Beginn des Trainings die größten Kräfte auf. Im Verlauf des Trainings nahm die Kraft in allen Klassen praktisch linear zu, wobei der steilste Anstieg in der Klasse mit dem kleinsten Oberschenkelumfang zu verzeichnen war. Die größte absolute Kraft wurde von der Klasse III erreicht.

Der Oberschenkelumfang nahm in allen Klassen im Verlaufe des Trainings mit etwa gleicher Steilheit zu, wobei, entsprechend den Ausgangswerten, die Klasse III die größten Absolutwerte erreichte.

In Bezug auf die Haltezeit zeigten sich erhebliche Unterschiede. In den Klassen II und III war eine deutliche Abnahme zu verzeichnen. Dagegen konnte die geringe Abnahme

in der Klasse I statistisch nicht gesichert werden. Infolge der nur gering abnehmenden Haltezeit steigt die Halteleistung in der Klasse I steil an. In den beiden anderen Klassen wird etwa in der Mitte des Trainings ein Gipfel erreicht. Anschließend sinkt die Halteleistung wieder ab. Der Endwert der Klasse I liegt noch über dem der Klasse II. Die elektrische Aktivität nimmt nur in der Klasse III nahezu kontinuierlich ab. In der Klasse I kommt es zu einem schwächeren Anstieg. Erst nach Erreichen eines Gipfels wird in diesen beiden Klassen die elektrische Aktivität vermindert. Die Abnahme der elektrischen Aktivität wird darauf zurückgeführt, daß trotz steigender Kräfte die Anzahl der gleichzeitig tätigen motorischen Einheiten im Verlauf des Trainings abnimmt.
Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß selbst unter den vereinfachten Bedingungen des isometrischen Trainings in Abhängigkeit von der Konstitution entweder die Kraft oder die Ausdauer ausschlaggebend beeinflußt wird.

Schrifttum

1.) Adrian,E.D.a.D.W.Bronck: J.Physiol.67,119 (1929)

2.) Bergström,R.M.:Am.Acad.Scie.Fenn.; Serie A.V.Medica (1959)

3.) Bethe,A.: Pflüg.Arch.Physiol.142,291 (1911)

4.) Bourguignon,A., R.Marty e.J.Scherrer: J.de Physiol. 51, 93 (1959)

5.) Buchthal,F.:Annual Rev.Physiol.9,119(1947)

6.) Buchthal,F.: Einführung in die Elektromyographie. Urban und Schwarzenberg München und Berlin 1958

7.) Buchthal,F.: Gastvorlesung Berlin 1960

8.) Buchthal,F:,C.Guld a.P.Rosenfalck: Acta physiol.Scand. 32, 219 (1954)

9.) Dempster,W.T.a.J.C.Finerty: Am.J.Physiol. 150, 596(1947)

10.) Eccles,J.C.a.C.S.Sherrington: Proc.Poy.Soc., London Biol.Sc.106, 326 (1930)

11.) Frank,O.:Erg.Physiol.3-II,348(1904)

12.) Friedebold,G.: Untersuchungen über trainingsabhängige Anpassungsvorgänge der Skelettmuskulatur beim Menschen. Habilitationsschrift, Berlin 1960.

13.) Friedebold,G.,W.Nüssgen u.H.Stoboy: Berliner Medizin 8, 220 (1957)

14.) Friedebold,G.,W.Nüssgen u.H.Stoboy: Zschr.exper.Med. 8, 220 (1957)

15.) Friedebold,G.H.Stoboy u.W.Nüssgen: Zschr. orthop. 91, 79 (1959)

16.) Friedebold,G. u.H.Stoboy: Im Druck

17.) Gutmann,E.a.L.Guttmann: J.Neurol. 7, 7 (1944)

18.) Herxheimer,H.: Grundriß der Sportmedizin, Georg Thieme Verlag Leipzig (1933)

19.) Hettinger,Th.: Sportmedizin 7, H.9 (1959)

20.) Hettinger,Th. u.E.A.Müller: Arbeitsphysiol.15,111(1953)

21.) Hoffmann,P.: Untersuchungen über die Eigenreflexe (Sehnenreflexe)menschlicher Muskeln. Springer Verlag Berlin 1922.

22.) Humoller,F.L.:D.Hatsch a.A.R.Mc.Intyre: Amer.J.Physiol. 169, 654 (1952)

23.) Hunt,C.C.a.S.W.Kuffler: J.Physiol. 126, 293 (1954)

24.) Lindsley,D.B.: Amer.J.Physiol. 114, 90 (1935)

25.) Lippold,O.C.J.: L.Physiol. 117, 492 (1952)

26.) Lorme de,Th.L.,B.G.Ferris a.J.R.Gallagher: Arch.physic. Med., 33, 86(1952)

27.) Morpurgo,B.:Virchow's Arch.path.Anat.,150,522 (1897)

28.) Petow,H.u.W.Siebert:Zschr.klin.Med.102, 427 (1925)

29.) Piper,H.:Elektrophysiologie menschlicher Muskeln, Springer Verlag Berlin 1912

30.) Rarick,G.L. a.G.L.Larsen:Res.Quart.Amer.Health phys. Educ. 29 , 333 (1958)

31.) Roux,W.: Gesammelte Abhandlungen über die Entwicklungsmechanik der Organismen,Bd.1, Funktionelle Anpassung Leipzig 1895.

32.) Schaefer,H.: Pflüg.Arch.Physiol. 237, 329 (1936)

33.) Snyder,R.,C.F.S.Fisher a.A.C.Burton: Federation Proc. 8, 149 (1949)

34.) Stoboy,H.,W.Nüssgen u.G.Friedebold: Internat. Zschr. angew.Physiol. 17, 391 (1959)

35.) Thörmer,W.: Arbeitsphysiologie 8, 359 (1934)

36.) Wacholder,K.: Erg.Physiol., 26, 568 (1956)

Herrn Priv.Dozent Dr. med. Günter Friedebold, Chefarzt der chirurgisch-orthopädischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses Berlin-Britz, danke ich für die Zuweisung dieser Arbeit und die allzeit gewährte Unterstützung bei ihrer Durchführung.

L e b e n s l a u f

Am 15. Juni 1925 wurde ich, Gudrun Irmgard Düntsch, als Tochter des Bankbeamten Hermann Güte und seiner Ehefrau Irmgard geb. Konopka in Berlin geboren. Nach dem Grundschulunterricht in Berlin-Lichterfelde besuchte ich Oberschulen in Berlin-Lichterfelde, Freiburg und Schneidemühl, wo ich an der dortigen Frauenoberschule 1944 die Reifeprüfung ablegte. 1946 begann ich mit dem Studium der Medizin an der Humboldt-Universität in Berlin. Die ärztliche Vorprüfung habe ich am 10. Oktober 1949 bestanden. Das Staatsexamen legte ich am 8. Januar 1954 an der Freien Universität Berlin ab. Nach meiner Pflichtassistentenzeit am Auguste-Viktoria Krankenhaus in Berlin-Friedenau wurde mir am 16. Juli 1955 die Vollapprobation zuerkannt.
Nach meiner Pflichtassistentenzeit habe ich gelegentlich in Praxen gearbeitet und den Studentenarzt der Freien Universität vertreten.
Ich bin mit Dr. med. Gerhard Düntsch verheiratet und habe 3 Kinder.